COMUNICACIÓN I + D 29/00

2ª edición

LA DESINFECCIÓN DEL SUELO POR ENERGÍA SOLAR (SOLARIZACIÓN)



Comunidad Europea



ANDALUCIA

Consejería de Agricultura y Pesca

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

LA DESINFECCIÓN DEL SUELO POR ENERGÍA SOLAR (SOLARIZACIÓN)

Autores:

Elvira Frápolli Daffari (*)
Cayetano Garijo Alba (*)
Emilio García García (*)

(*) Delegación Provincial de la C.A.P. de Málaga. Dpto. de Sanidad Vegetal.

Título:
LA DESINFECCIÓN DEL SUELO POR ENERGÍA SOLAR (SOLARIZACIÓN)

©:
JUNTA DE ANDALUCÍA. ***Consejería de Agricultura y Pesca.***

© Textos:
Autores.

Publica:
VICECONSEJERÍA. *Servicio de Publicaciones y Divulgación.*

Colección:
COMUNICACIONES I+D. nº 29/00.

Autores:
Frápolli Daffari, Elvira.
Garijo Alba, Cayetano.
García García, Emilio.

Ilustraciones:
Dpto. de Sanidad Vegetal. Delegación de Agricultura y Pesca de Málaga.

I.S.B.N.:
84-87564-13-5

Depósito Legal:
SE-1231-2000

Maquetación e Impresión:
A. G. Novograf, S.A. (Sevilla)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 5

TÉCNICA DE APLICACIÓN 7

EFECTOS 9

COSTE 18

VENTAJAS Y LIMITACIONES 19

SITUACIÓN ACTUAL Y CONCLUSIONES 21

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 23

INTRODUCCIÓN

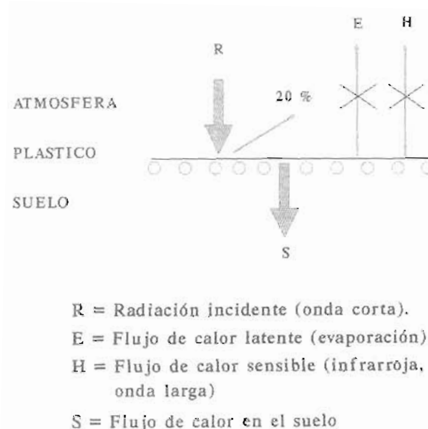
La solarización es un método de desinfección del suelo, que aprovecha la energía solar para aumentar la temperatura del terreno libre de cultivo, unos 8-10 ºC, mediante su acolchado, tras un riego abundante, utilizando una lámina de plástico transparente durante los meses de verano. (Foto 1).



▲ **Foto 1.** *Solarización de una parcela al aire libre*

Sin entrar en la descripción de las ecuaciones que gobiernan el flujo y balance de energía en el suelo, se puede decir que la temperatura del mismo es el resultado de pérdidas y ganancias de calor. El calentamiento del suelo durante la solarización se produce por la concurrencia de varios mecanismos: (Fig. 1):

Figura 1:
CALENTAMIENTO DEL SUELO DURANTE LA SOLARIZACIÓN



- Por una parte, sobre el plástico incide la radiación solar de onda corta, de la cual se pierde aproximadamente un 20 %, según el plástico, debido a la opacidad y reflexión del mismo.
- Por otra parte, el plástico impide la evaporación del agua del suelo a la atmósfera, por lo que las gotas de agua de su cara interna se condensan y caen al suelo, evitándose las pérdidas debidas al flujo de calor latente.
- Así mismo, se reducen las pérdidas de la radiación de onda larga (infrarroja) del suelo a la atmósfera, debido a la opacidad del plástico en esta zona del espectro, fenómeno que da origen al conocido "efecto invernadero".

Esta reducción de las pérdidas de calor compensan aquella disminución de la radiación incidente (20 %), y aumenta el calor disponible para su transmisión en el suelo. Esta transmisión, a su vez, se ve favorecida por la mejora en las propiedades térmicas del suelo húmedo, que incrementa la capacidad calorífica y la conductividad térmica con respecto al suelo seco.

La suma de estos efectos se traduce en un aumento de la temperatura del suelo, del orden de unos 10 ºC respecto al suelo no solarizado, obteniéndose temperaturas que mantenidas durante un período mínimo de un mes, ejercen un efecto desfavorable en la supervivencia de numerosos organismos patógenos del suelo (hongos, nemátodos, bacterias, así como semillas de malas hierbas). Junto a éste control de patógenos del suelo, la solarización conlleva un efecto adicional positivo consistente en un incremento en el rendimiento del cultivo posterior.

Todos estos efectos, así como el coste, las ventajas y limitaciones y la situación actual de esta técnica, serán analizados en esta publicación.

Técnica de Aplicación

Epoca de tratamiento

Las mejores condiciones para aplicar la solarización son los días largos de cielo despejado, de mayor insolación, viento en calma, y temperaturas elevadas del aire. En zonas de clima mediterráneo, este período se limita a los meses de verano.

Material

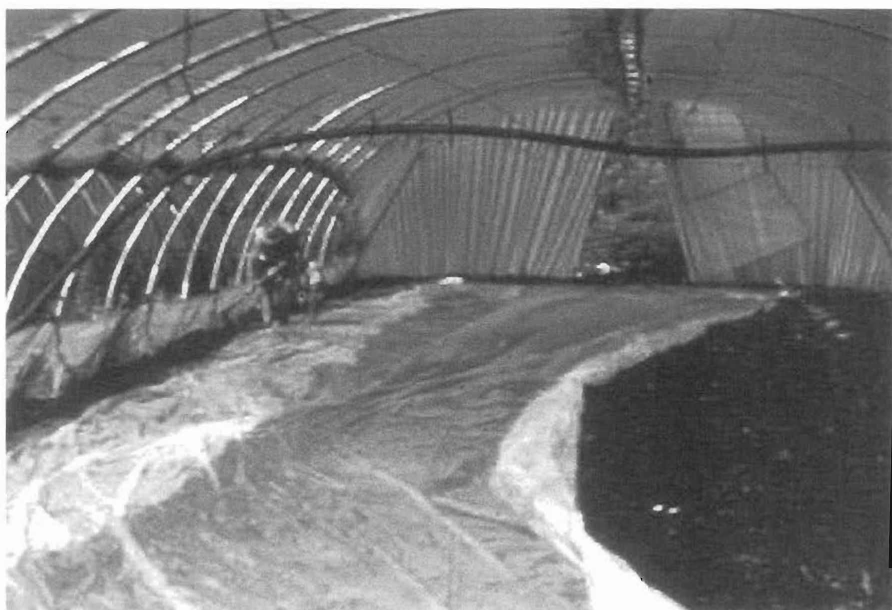
La elección del material plástico está en función de sus propiedades ópticas y mecánicas: El material idóneo es el que presente la máxima transmisión de la radiación de onda corta para maximizar el calentamiento del suelo, y la mínima transmisión de la radiación de onda larga (Infrarroja) del suelo a la atmósfera, con el fin de minimizar las pérdidas de calor durante la noche. En función de todo ello, el material óptimo es el Polietileno Normal Transparente. En cuanto al grosor, varía entre 100 galgas (= 25 micras = 0.025 mm) y 200 galgas (= 50 micras = 0.05 mm), según el riesgo de rotura por el viento, piedras, y otros factores.

Preparación del terreno

El terreno debe estar libre de vegetales, y bien desmenuzado, con el fin de proporcionar una superficie lo más lisa posible. Se deben evitar bolsas de aire y facilitar la penetración profunda del agua. Lo más importante para que el tratamiento sea eficaz es el riego previo a la aplicación del plástico. Cualquier forma de riego es aceptable, siempre que sea copioso y deje húmedo el suelo en todo un perfil de 50 cm.

Colocación del plástico

El plástico puede colocarse manual o mecánicamente, siendo importante que la lámina quede tensada, y que todos los bordes de la misma queden bien enterrados para evitar cualquier renovación del aire, que disminuiría la temperatura y resecaría el terreno. El suelo debe quedar totalmente cubierto para conseguir el efecto térmico en todo su volumen. (Foto 2).



▲ **Foto 2.** *Colocación manual de plástico.*

Duración del tratamiento

La duración del tratamiento depende de las temperaturas alcanzadas, del organismo a controlar, y de las poblaciones de dicho patógeno en el suelo. En general, se consideran necesarias de 4 a 6 semanas de solarización como mínimo para obtener resultados satisfactorios. El período máximo dependerá del ciclo del cultivo posterior, y del envejecimiento del plástico.

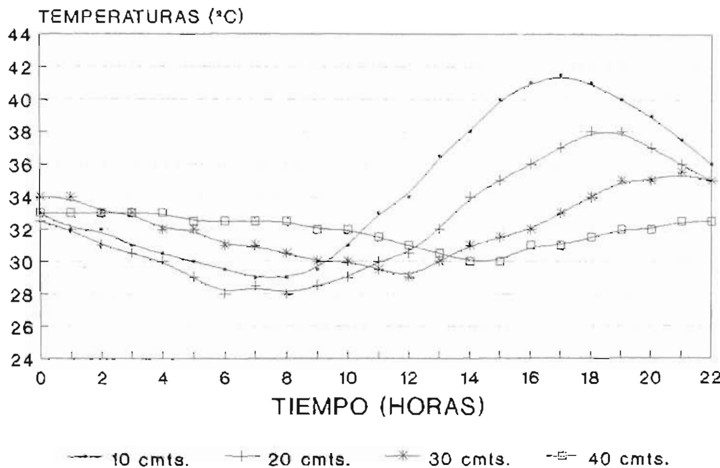
EFECTOS

Los efectos letales de la solarización dependen por un lado del nivel de temperatura alcanzada en el suelo; por otro, del tiempo de exposición a la misma; y por último, del patógeno a controlar.

Efecto Térmico

El incremento de temperatura se manifiesta a todas las profundidades, aunque las temperaturas más elevadas se adquieren cerca de la superficie. Representando gráficamente la evolución diaria de la temperatura del suelo durante la solarización se obtiene una curva sinusoidal que se va amortiguando con la profundidad (Gráfica 1). Las máximas temperaturas alcanzadas en distintas experiencias, varían entre 50 y 55 ºC a 5 cm, 45 y 50 ºC a 10 cm, y 35-45 ºC a 20 cm de profundidad; es decir, unos 7-14 ºC por encima de las del suelo no acolchado.

Gráfica 1:
EFECTO TÉRMICO EN PROFUNDIDAD



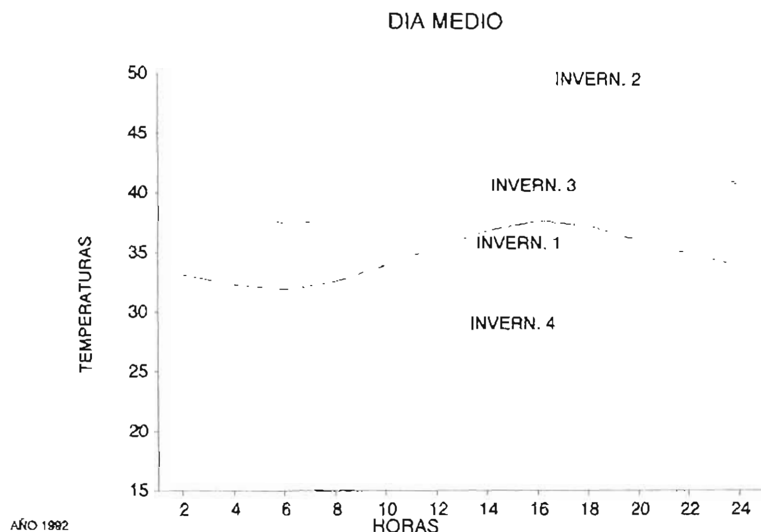
La solarización practicada en el interior de un invernadero cerrado produce una elevación de la temperatura del suelo aún mayor, que puede alcanzar los 16 ºC de diferencia con respecto al suelo no acolchado al aire libre, y unos 8-10 ºC con respecto al suelo solarizado al aire libre. Incluso en el suelo desnudo en el interior de un invernadero cerrado, se obtienen unas temperaturas similares a las registradas mediante solarización al aire libre. Por ello, un sencillo método para obtener un control relativo de algunos patógenos es aplicar un riego para, a continuación, cerrar totalmente el invernadero en los meses de verano. El principal mecanismo implicado parece ser la reducción de las pérdidas de calor por convección, estrechamente relacionadas con la velocidad del viento, creándose una cámara de aire caliente y estático en el invernadero; éste aire alcanza unas temperaturas superiores a las del suelo. A ciertas horas del día se produce un aporte de calor del aire al suelo, incrementando así su temperatura. (Foto 3).



▲ **Foto 3.** *Solarización en el interior de un invernadero cerrado.*

En la Gráfica 2 se representa la evolución de las temperaturas del suelo de un "día medio", a 10 cm de profundidad, para 3 modalidades: solarización al aire libre (invern 1), una solarización en un invernadero cerrado (invern 2), el cierre de un invernadero sin solarizar (invern 3), y un testigo al aire libre (invern 4).

Gráfica 2:
TEMPERATURAS MEDIAS DEL SUELO EN 3 MODALIDADES DE SOLARIZACIÓN



El efecto térmico de la solarización trae consigo una acción letal sobre muchos microorganismos fitopatógenos, con una reducción de sus densidades poblacionales, o de su inóculo en el suelo. Esto se traduce en una disminución de la incidencia de las plagas y enfermedades en el cultivo siguiente. Además de la muerte térmica directa, los efectos del calentamiento subletal originan un retraso en la germinación del propágulo, tasas de crecimiento reducidas, y un posible control biológico inducido.

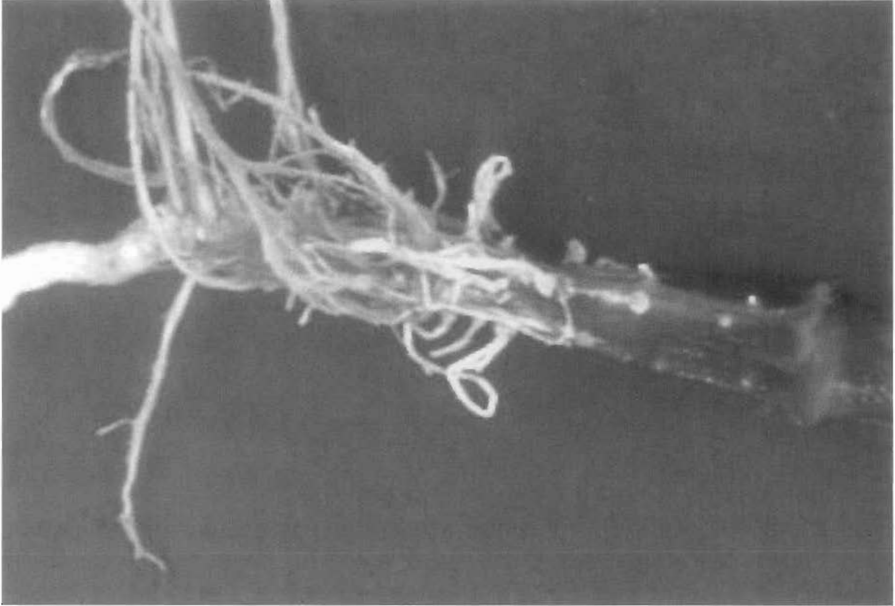
Entre los patógenos del suelo controlados por solarización, se citan: hongos, nemátodos, y bacterias, además de semillas de malas hierbas.

Efecto Fungicida

Hasta el momento, es en el control de hongos fitopatógenos de suelo, donde la solarización se ha mostrado más eficaz. Ejemplos de hongos controlados por solarización son: *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Thielaviopsis basicola*, *Phytium spp.*, *Plasmodiophora brassicae*, *Phyrenochaeta licopersici*, *Phytophthora cinamomi*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia spp.*, *Rosellinia necatrix*, *Didymella spp.*, *Bipolaris spp.*, etc.

El efecto fungicida de las temperaturas alcanzadas en el suelo durante la solarización, se manifiesta en una reducción de la densidad del inóculo a distintas profundidades, y como consecuencia, en la disminución de la incidencia de la enfermedad en el cultivo posterior.

Son numerosos los ensayos realizados en diferentes países para poner de manifiesto la eficacia de la solarización en el control de distintas especies de hongos del suelo. En general se necesita menos tiempo de exposición a la solarización para eliminar los hongos del suelo, en relación con otros patógenos. (Fotos 4 y 5).



▲ **Foto 4.** *Daños producidos por Pythium sp. en cuello de plantas de melón.*



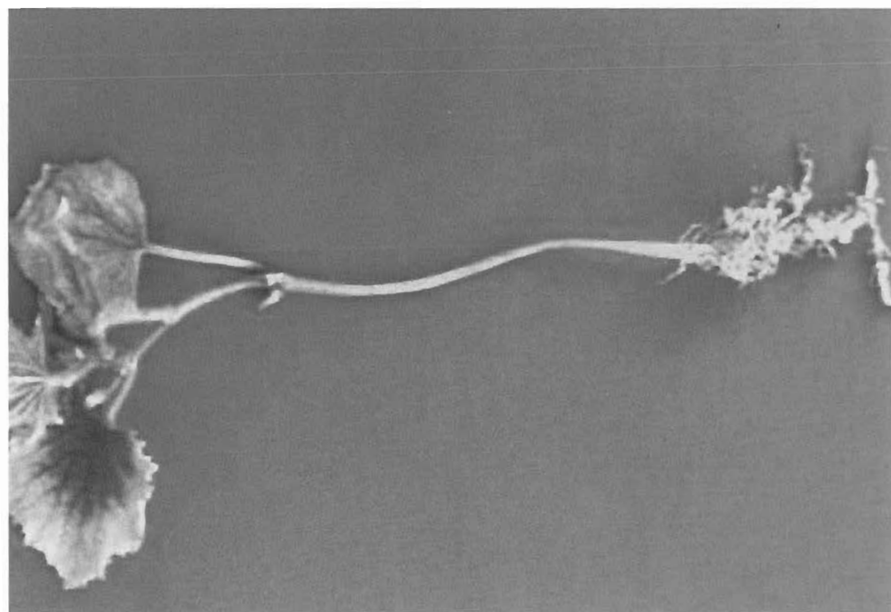
▲ **Foto 5.** *Daños producidos por Rhizoctonia solani en cuello de plantas de pepino.*

Algunos hongos antagonistas o agentes responsables del control biológico, tales como *Trichoderma* parecen verse favorecidos por la solarización.

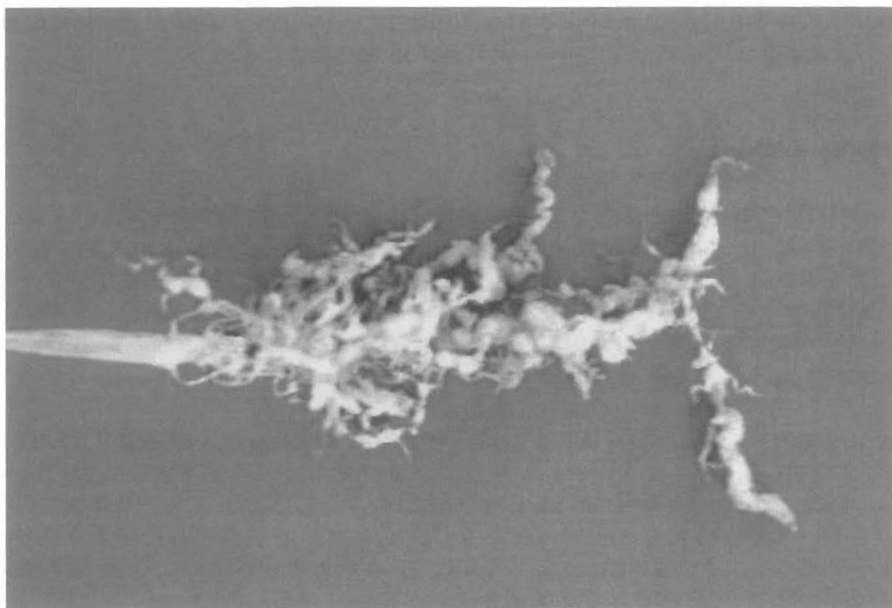
Efecto Nematicida

La solarización se ha mostrado eficaz en el control de numerosos nemátodos fitoparásitos de importancia económica, como son las especies del género *Meloidogyne*, y diversas especies del género *Pratylenchus*, así como otros nemátodos entre los que se citan las especies *Globodera rostochiensis*, *Ditylenchus dipsaci*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Heterodera carotae*, *Rotylenchulus reniformis*, *Heterodera schachtii*, etc. (Fotos 6 a 11).

La solarización sólo afecta a una parte del ciclo vital de los nemátodos: aquella que transcurre en el suelo en ausencia de hospedante. Las larvas en el suelo pierden infectividad y movilidad sufriendo un envejecimiento fisiológico que es consecuencia del incremento en la tasa respiratoria derivada del aumento de la temperatura. A partir de unos 35 ºC, todos los procesos vitales de los nemátodos se ven afectados negativamente, produciéndose su muerte en un periodo muy breve.



▲ **Foto 6.** *Planta de pepino, afectada por Meloidogyne sp. mostrando nódulos radiculares y escaso crecimiento.*



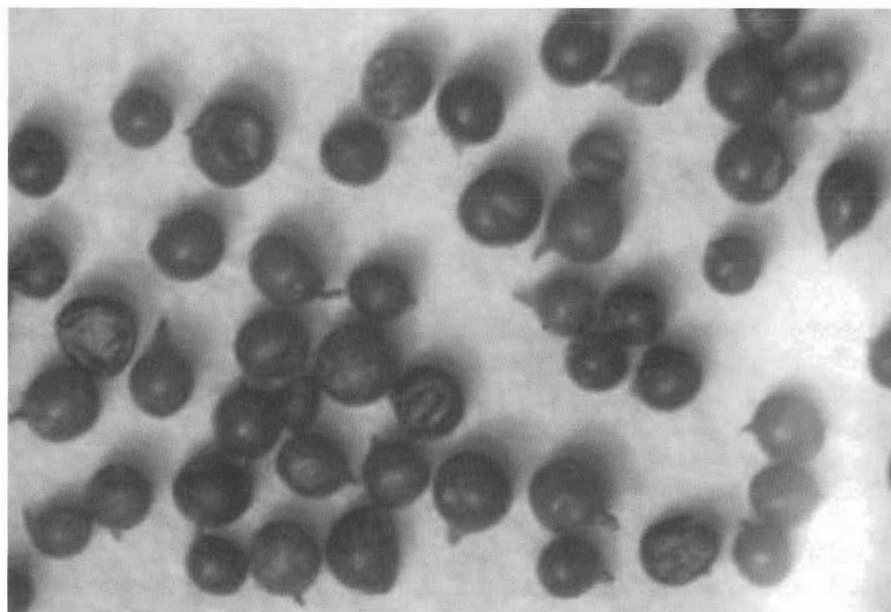
▲ **Foto 7.** *Nódulos radiculares producidos por Meloidogyne sp. en planta de pepino*



▲ **Foto 8.** *Cultivo de tomates en invernadero, afectado por ataque de Meloidogyne sp.*



▲ **Foto 9.** *Cultivo de tomates al aire libre afectado por ataque de Meloidogyne sp.*



▲ **Foto 10.** *Quistes del Nemátodo dorado de la patata, Globodera rostochiensis*



▲ **Foto 11.** *Cultivo de patatas afectado por ataque de Globodera rostochiensis*

Efecto Herbicida

Desde el comienzo de su aplicación (Israel, 1.976), la solarización ha demostrado su efecto herbicida. Katan y colaboradores, en Israel (1.981), en una revisión de los géneros controlados por solarización citan: *Amaranthus, Anagallis, Avena, Capsella, Chenopodium, Convolvulus, Cynodon, Digitaria, Eleusine, Fumaria, Lactuca, Lamium, Mercurialis, Molucella, Montia, Notobasis, Phalaris, Poa, Portulaca, Sisymbrium, Solanum, Sorghum, Stellaria, y Xanthium.* En E.E.U.U., Pullman y colaboradores (1.984), aportan además los géneros siguientes: *Abutilon, Amsinckia, Calandrinia, Cyperus, Datura, Echinocloa, Eragrostis, Malva, Orobanche, Oxalis, Senecio, y Sida.*

En general, la solarización influye notablemente sobre las malas hierbas anuales, en menor medida sobre las perennes, e incluso sobre ciertas plantas parásitas, como *Orobanche* spp.

Efecto Bactericida

La solarización provoca que la densidad de población bacteriana en el suelo solarizado respecto al control se reduzca significativamente. Esta microflora está constituida por bacterias Gram positivas, *Agrobacterium, Pseudomonas* fluorescentes, Actinomicetos, etc. Otras bacterias beneficiosas como las Rizobacterias Estimulantes del Crecimiento Vegetal, y *Bacillus* spp. aumentan sus densidades y recolonizan las raíces.

Efecto sobre el cultivo posterior

La solarización conlleva un efecto adicional, que consiste en una elevación del rendimiento del cultivo posterior. Dicho incremento se observa en el crecimiento vegetativo, vigor, altura y peso de las plantas, producción/planta, y producción del cultivo en Kg/Ha. Este efecto sobre el rendimiento se ha observado en varias estaciones de crecimiento posteriores al tratamiento, incluso en ausencia de infecciones por patógenos del suelo. Las explicaciones que se han manejado son: por una parte, el efecto de las bacterias y hongos beneficiosos que sobreviven a la solarización y recolonizan las raíces de las plantas; por otra, la liberación o aumento que se produce en la concentración de nutrientes solubles y materia orgánica asimilables por las plantas; y por último, la eliminación de patógenos de importancia secundaria.

Otros Efectos

Además de los efectos citados, la solarización puede producir cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, consistentes en un significativo incremento en la concentración de nutrientes minerales (NO_3^-, NH_4^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^-, etc.), así como de materia orgánica soluble. Estos aumentos, aunque temporales, dan un beneficio económico adicional al tratamiento. Otros cambios observados afectan a la humedad, conductividad eléctrica, y atmósfera del suelo.

La solarización del suelo proporciona un ambiente que estimula la actividad de la biota beneficiosa y favorece el crecimiento de los antagonistas responsables del control biológico. Esta nueva distribución de los microorganismos del suelo estimula el crecimiento del cultivo posterior, dificulta el desarrollo de organismos fitopatógenos y semillas de malezas supervivientes a la solarización, retardando la reinfestación del suelo durante más de una estación de crecimiento.

COSTE

Si se quiere establecer una comparación entre el coste de la solarización y el de una desinfección química del suelo, es necesario no perder de vista todas aquellas operaciones que son necesarias en ambos tipos de tratamientos: las labores previas en el terreno, los riegos necesarios, el tipo de aplicación del plástico (manual o mecánica), los jornales necesarios, el coste del material plástico o del producto químico, la superficie a desinfectar, la dosis a aplicar, la maquinaria necesaria, o incluso la contratación de personal o empresas autorizadas para la aplicación de diversos productos. Estos factores hacen que la comparación de los costes de la solarización con los de diversas desinfecciones químicas sea algo bastante complejo de abordar. No obstante , y de una forma general, se podría decir que el coste de la solarización es relativamente bajo en relación con los productos químicos actualmente utilizados. Concretamente es muy inferior a la aplicación del Bromuro de Metilo, y similar a la del DD, o del Metam-sodio.

La combinación de la solarización con fumigantes químicos es una práctica muy interesante, como alternativa a la desinfección quimica del suelo, ya que puede reducirse notablemente el tiempo de exposición a las altas temperaturas, y de paso, puede disminuirse la dosis del producto, para conseguir el mismo efecto desinfectante en el suelo.

VENTAJAS Y LIMITACIONES

Siendo la eficacia de la solarización equiparable, cuando no superior, a la de dichos productos, una de las ventajas es que no implica los problemas de la desinfección química relacionados con la contaminación, así como los peligros derivados del manejo de productos de elevada toxicidad. A continuación se relacionan las ventajas, así como las limitaciones encontradas en dicha técnica.

Ventajas:

- El coste es notablemente bajo, comparado con la desinfección química, o con la desinfección por vapor.
- No entraña peligrosidad de manejo
- No conlleva problemas de acumulación de residuos tóxicos ni de contaminación ambiental.
- Es un método sencillo, que no requiere material ni maquinaria especial.
- Es polivalente a diversos grupos de patógenos del suelo: Hongos, Nemátodos, Bacterias, Malas Hierbas, etc.
- Su eficacia es comparable a la de los mejores tratamientos químicos siempre que se aplique en zonas adecuadas.
- No se alteran las propiedades fisico-químicas del suelo, al no tratarse de un calentamiento excesivo (lo que sí ocurre con el vapor de agua).
- No conlleva un efecto drástico sobre el equilibrio biológico del suelo. A diferencia de las desinfecciones químicas, no provoca el "vacío biológico" responsable de las posteriores reinvasiones.

Limitaciones:

- Es una técnica aplicable en zonas con elevada irradiación solar y altas temperaturas estivales, y sólo durante una época del año.

- Durante la duración del tratamiento, el terreno debe estar libre de cultivo (durante un mes del verano, como mínimo).
- Variabilidad en los resultados, derivada de la inherente variación del clima.
- Está indicado para pequeñas parcelas e invernaderos.
- No es un método de desinfección total.

SITUACIÓN ACTUAL Y CONCLUSIONES

Desde que Katan y colaboradores iniciaron los estudios de solarización en Israel, en 1976, el avance de las investigaciones ha sido notable, sobre todo en los países de la cuenca mediterránea. Sin embargo, no se ha producido aún su implantación total, como alternativa viable a los actuales métodos de tratamiento del suelo, allí donde es posible. El agricultor tiende a seguir utilizando métodos de desinfección ya comprobados y arraigados.

Dado que en España el cultivo hortícola al aire libre y en invernadero tiene una gran importancia, es evidente el interés que presenta esta técnica en nuestro país, ya que existen amplias zonas con elevada irradiación solar y con temperaturas estivales lo suficientemente altas como para que el método sea aplicable con garantías de éxito. Sin duda el nuestro es uno de los países donde la solarización ofrece mayores posibilidades a nivel mundial.

La solarización del suelo, sin embargo, no debe considerarse como un tratamiento de desinfección completa, sino que debe contemplarse como un procedimiento que, empleado correctamente, consigue reducir a un nivel económico, los daños fitopatológicos. Debido a su sencillez, bajo coste, polivalencia e inocuidad, la solarización del suelo puede resultar una alternativa ventajosa a las fumigaciones químicas, o un método adicional de control, que es posible combinar con otras medidas fitosanitarias, como las culturales, biológicas y químicas, incluíble por tanto, en los programas de Lucha Integrada, para cultivos hortícolas tanto al aire libre como bajo plástico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cenis, J.L., Martínez, P.F., González, G., Aragón, R. (1985): "Desinfección del suelo por energía solar (Solarización)" CRIA. Murcia. Public. Técnica nº1.

Cenis, J.L. (1985): "Control del nematodo *Meloidogyne javanica* mediante calor solar (Solarización)". An.INIA Serv Agric, 28 (Extra) : 121-130.

Cenis, J.L., Martínez, P.F., González, A., Aragón R. (1983): "Ensayo de control de *Verticillium dahliae* y *Rhizoctonia solani* mediante desinfección solar en campo de Cartagena. CRIA. Murcia.

Cenis, J.L. (1991):"Control de hongos de suelo mediante solarización". Phytoma España, 30 : 59-61.

Cenis,J.L.(1986): "Desarrollo de un enfoque cuantitativo de la solarización y aplicación al control del nemátodo *Meloidogyne javanica*". Tesis doctoral.

Chen, Y., Katan, J. (1980): "Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties". Soil Science, 130 (5) : 271-277.

Greco, N., Brandonisio, A., Elia, F. (1985): "Control of *Ditylenchus dipsaci, Heterodera carotae* and *Meloidogyne javanica* by solarization". Nematologia Mediterranea, 13: 191-197.

Greco, N., D'Addabbo, T., Brandonisio, A., Zweep, A. (1990): "Combined effect of the soil solarization and 1,3- Dichloropropene for the control of *Heterodera carotae*". Nematologia Mediterranea, 18 : 216-264.

Greenberger, A., Yogen, A., Katan, J. (1987): " Induced suppresiveness in solarized soils". Phytopathology, 77 (12) : 1663-1667.

Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., Grinstein A. (1976): "Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens". Phytopathology, 66 : 683-688.

Katan, J., Grinstein, A., Greenberger, A, Yarden, O., De Vay, J.E. (1987): "The first decade (1976-1986) of soil solarization (Solar heating): A chronological Bibliography". Phytoparasitica, 15 (3) : 229-255.

Katan, J., Fisher, G., Grinstein, A. (1983): "Short- and long- term effects of soil solarization and crop sequence on Fusarium Wilt and yield of cotton in Israel". Phytopathology, 73 (8) : 1215-1219.

LaMondia, J.A., Brodie, B.B. (1984): "Control of *Globodera rostochiensis* by solar heat". Plant Disease, 68 (6) : 474-476.

López, C.J. (1986): "Control preventivo sobre *Botrytis cinerea* en cultivos hortícolas de invernadero por métodos físicos". Horticultura, Marzo-Abril : 36-40.

Mahrer, Y., Naot, O., Rawitz, E., Katan, J. (1984): "Temperatures and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene". Soil Sci. Soc. Am. J., 48 : 362-367.

Mihail, J.D., Alcorn, S.M. (1984): "Effects of soil solarization on *Macrophomina phaseolina* and *Sclerotium rolfsii*". Plant Disease, 68 (2) : 156-159.

Stapleton, J.J., Lear, B., De Vay, J.E. (1987): "Effect of combining soil solarization with certain nematicides on target and non-target organisms and plant growth". Annals ofApplied Nematology, 1 : 107-112.

Stapleton, J.J., De Vay, J.E. (1986): "Soil solarization: A non chemical approach for management plant pathogens and pests". Crop Protection, 5 (3) : 190-198.

Stapleton, J.J., De Vay, J.E. (1984): "Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response". Phytopathology, 74 (3) : 255-259.

Stapleton, J.J., De Vay, J.E. (1983): "Response of phytoparasitic an free-living nematodes to soil solarization and 1,3- Dichloropropene in California". Phytopathology, 73(10) :1429-1436.



P.V.
550 P
3,30